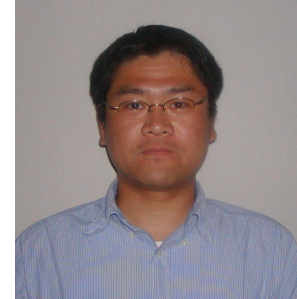


津波・高潮防災技術について



所属名 : 五洋建設株式会社

発表者 : 技術研究所 西畑 剛

1. はじめに

日本は沿岸部に人口・資産を集中させており、ひとたび津波高潮の浸水災害に見舞われると甚大な被害を受ける地理条件にある。最近では1993年の北海道南西沖地震津波、1983年の日本海中部地震津波、2004年の18号、21号、23号台風等では多くの被災者を伴う惨事となった。こうした中、内閣府中央防災会議では東海・東南海・南海地震に対して強化指定地域・推進地域を定めるなど、津波や高潮による浸水災害への対策が急務となっている。

こうした浸水災害に対しては、防波堤や防潮堤、陸開、胸壁、水門といった海岸防護施設による対応（いわゆるハードによる防災）が従来なされて来た。しかしながら整備すべき沿岸域は膨大であり、建設にかかる時間やコスト面からの制約などこうしたハードによる防災には自ずと限界がある。近年、警報・監視網の強化やハザードマップ等を基にした地域防災教育訓練の推進、避難標識の整備等といった情報による災害への対処（いわゆるソフトによる防災）の必要性が指摘されている。津波や高潮による浸水災害にはこうしたハードによる防災とソフトによる防災のどちらをも勘案した総合的な対策を講じることが、今後の防災を考える上で重要になってくると思われる。

五洋建設株式会社では、まず想定される津波や高潮による外力を再現できる浸水シミュレーションの開発・整備を進めてきた。浸水シミュレーションは海岸施設による浸水低減効果を照査可能とする。そして計算される浸水域とGISから読み込んだ資産分布を重ね合わせることにより、浸水による資産被害やB/Cを評価できる体制を整えた。そうした上でハードによる対策の一つとして景観へも配慮した津波水門の開発を、ソフトによる対策として避難シミュレーションによる人的被害評価を行い、ハード・ソフト両面から津波防災対策を提案することを可能とした。本稿ではこれらの技術概要および検討例について紹介する。

2. 津波高潮浸水シミュレーション

2. 1 津波外力評価

津波の発生要因は、海洋を震央とする地震、海底地滑り、海底火山噴火、山体崩落による土石流の流入、隕石の衝突などが挙げられるが、ここでは海洋型地震に伴う津波を考える。理由は現在、防災計画上で想定している津波は、こうしたプレート境界で歴史的に繰り返し引き起こされる地震津波だからである。

こうした地震の多くは、断層形状などについて研究がまとめられており、そうした断層形状やずれ量から地球を弾性体と見なして震源域の海面変動を算定することにより、津波の初期波源が決定する。外洋における津波は変動範囲が大きいことと波高水深比が小さいことから線形長波によってよく近似される。海洋上での津波の伝播計算は、線形長波の運動の式と連続の式を連立させ、コンピュータによって数値計算を行うことにより再現される。

2. 2 高潮外力評価

高潮は台風の通過に伴い、水位が上昇する（正の潮位偏差が生じる）現象である。水位の上昇する要因は気圧の低下による海面の吸い上げ、強風による吹き寄せ、ウエーブセットアップが挙げられ、これらに満潮位が重なると被害が深刻になる。

高潮シミュレーションを行うにあたっては、想定外力として台風規模と台風経路を決定する必要がある。規模としては既往最大または伊勢湾台風規模のものを、経路としては検討地域において被害が最大となるものが用いられてきた。海洋上での高潮伝播は津波と同様に行うこと（線形長波による数値計算）により、計算される。

2. 3 陸上部における浸水計算

津波や高潮による浸水災害を検討する沿岸域付近では水深が浅くなることから、波の浅水変形により波長は短くなり、波高が増大する傾向がある。よって正確に波形を再現するため、外洋と比較してより計算に使用する地形データを細かくする必要がある。こうした措置は海岸防護施設や遡上時の陸上地形効果を詳細に再現するためにも必要である。この領域では、波高の増大により線形近似では計算精度が悪くなるため、非線形長波による数値計算が必要となる。

陸上における遡上に関しては、小谷ら（1998）による遡上波先端条件を課すことにより浸水を再現する。ここで、陸上での微地形（家屋や植生など）は土地利用に応じた粗度係数という形で組み込まれる。

計算例として図-1 に想定連動型宮城県沖地震津波による気仙沼湾での浸水結果を示す。ケース1は現状の海岸施設を、ケース2～5は対策工として湾内狭窄部や河口に水門や防潮堤を施した場合の浸水域であるが、対策工により浸水範囲・浸水深が変化することが計算されている。これについては5. 検討例にて詳細を述べる。

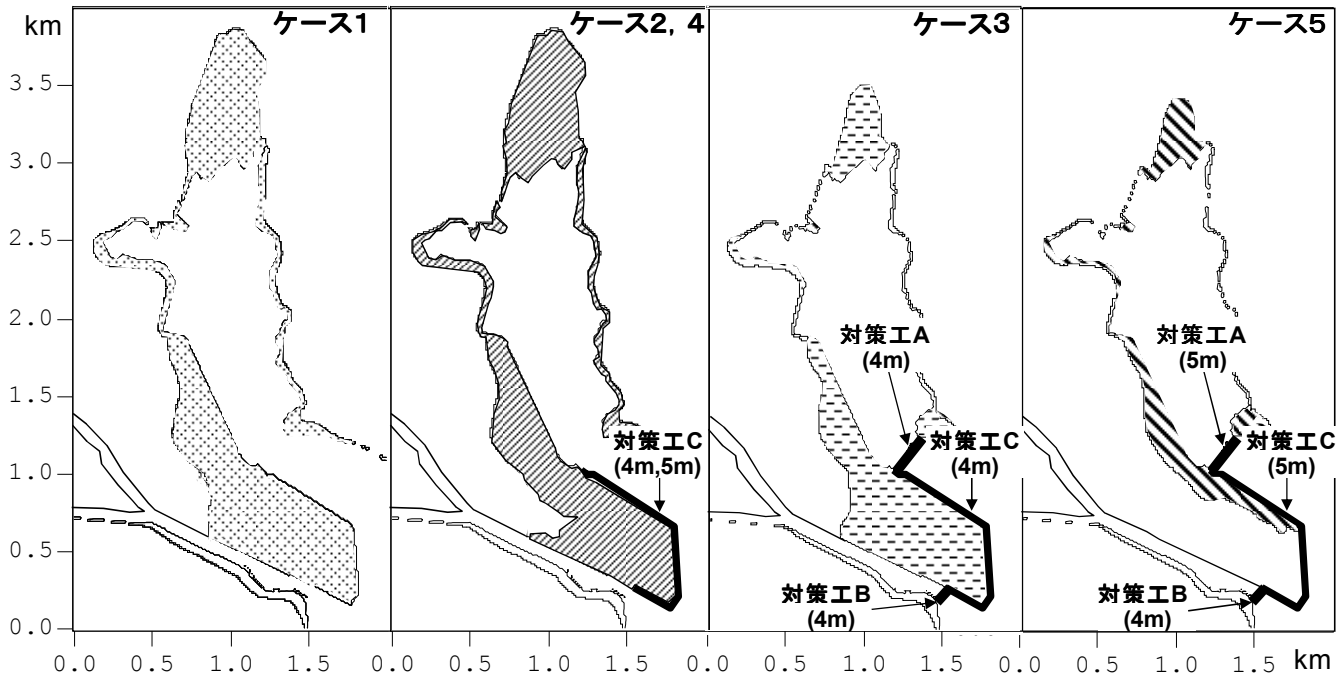


図-1 浸水計算結果

3. 被害評価

近年の GIS（地理情報システム）の急速な普及により、位置情報をベースとして各種情報を簡便に入手することが可能となった。豊田ら（2003）は GIS より抽出した資産分布（人口分布、家財資産分布、家屋資産分布、事業所資産分布）と浸水シミュレーションから得られた浸水域を重ね合わせることで、浸水による被害額を評価するシステムを考案した。図-2 に評価事例を示す。浸水シミュレーションにより海岸保全施設を整備した場合の浸水域や浸水深といった外力低減効果を検証することが可能であるが、GIS による被害評価システムにより、さらにそうした施設建設に対する B/C の検証も可能となる。



図-2 資産分布と浸水領域から被害総額を算出する手法概要

4. 浸水災害への対策

4. 1 ハードによる防災

津波や高潮に対する防護施設例を1で挙げたが、最近では景観や環境に配慮した新型の施設が考案されている。五洋建設(株)、石川島播磨重工業(株)も共同で新型の回転式水門を提案しており(田村ら、2004)、ここにその概略を紹介する。

この水門の基本構造はライジングセクター方式であり、常時はシェル構造の扉体が川床底部に格納されており、浸水災害時に無動力にて扉体が起きあがる仕組みである(図-3 参照)。水門の特徴としては堰柱が低く、水門構造も単純なことからコストがかからないこと、地震動のような外力に強いことが挙げられる。また普段は扉体部が水没しているため景観を損ねることがなく、無動力によるゲート開閉操作により緊急時への対応性を高めたことなども着目すべき点である。

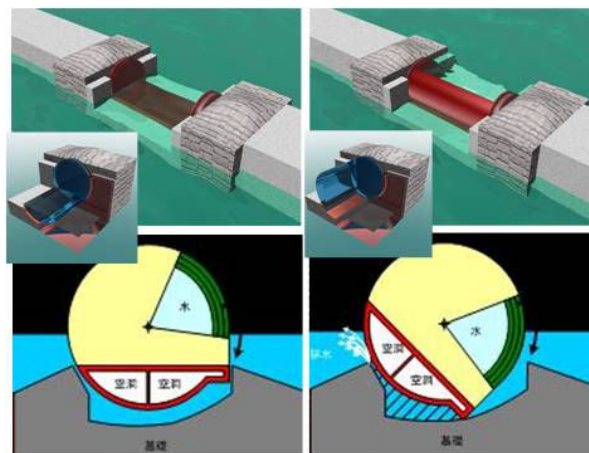


図-3 回転式水門構造概要

4. 2 ソフトによる防災

浸水災害への対策としては既に述べた通り、ハードによる防災とともにソフトによる防災の検討も必要である。ここでは人的被害を様々なシナリオで評価できる避難シミュレーションについて記す。

避難シミュレーションは人間の内面や行動特性(避難場所の知識の有無、災害へ敏感に反応するか等)、避難空間モデルを設定することにより、浸水時の避難をシミュレートする。避難空間はGISから読みとった道路データを線分と節点で表現するノードリンクによって避難経路を作成する。そして自治体が指定する位置に避難所を設定し、避難者初期位置、避難開始時間、避難場所、避難速度等に応じて個々の人間の避難をシミュレートし、別途計算した浸水シミュレーションによる浸水時系列データと重ね合わせることで、避難可否を判定する。図-4にシミュレーション例を示す。

こうした避難シミュレーションにより、様々な災害状況シナリオ下での人的被害評価が可能となる。そしてシミュレーションを再現するソフトはパソコン上で簡単に操作でき、なおかつ視覚に訴えるツールであるため、地域防災計画・住民訓練を行う際に有効であると考えられる。また避難所配置計画や地震動等による街路閉塞・落橋等による避難への影響も評価できることから、人間の避難に対して必要な施設や強化すべきインフラといったハード面における留意事項が逆に浮かび上がってくる効果もある。

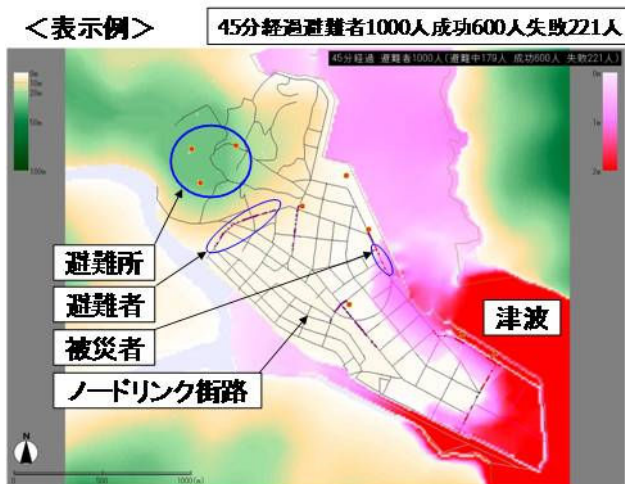


図-4 回転式水門構造概要

5. 検討例

浸水シミュレーションによる海岸施設による減災効果(ハードによる防災)および避難シミュレーションによる住民避難検討(ソフトによる防災)を同時に行った事例を紹介する。なお検討は気仙沼海岸防災研究会の研究活動の一環としておこなった。検討地点は宮城県気仙沼市大川北部地区(図-5)であり、想定連動型宮城県沖地震津波による浸水を対象災害とした。津波の到達時間および浸水開始時間を図-6に示す。また想定する海岸施設対策工は図-7に示す通りであり、対策工A,Bとしては前出の水門等、対策工Cとしては既設護岸嵩上げ等が考えられる。これら各対策工に対して浸水シミュレーションを実施し、解析された浸水時系列を外力条件として避難シミュレーション検討をさまざまな避難開始時間(地震発生後10分から60まで、1分毎)に対しておこなった。なお避難者数は1000人として検討地域にランダムに割り振った。避難所位置は2004年4月に気仙沼市が指定した避難場所とし、図-4に示した通りである。

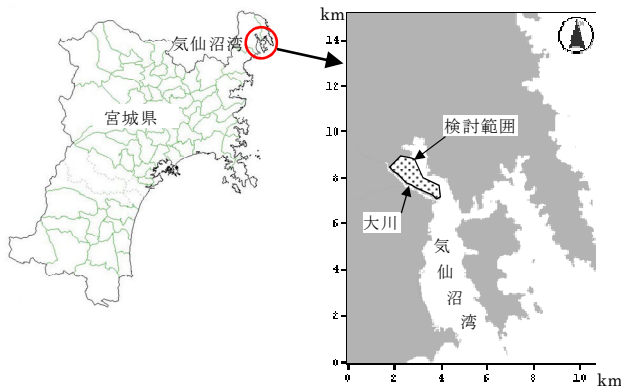


図-5 検討位置

想定ケース	対策工A	対策工B	対策工C
1	-	-	TP+2.29m(現状)
2	-	-	TP +4m
3	TP +4m	TP +4m	TP +4m
4	-	-	TP +5m
5	TP +5m	TP +4m	TP +5m

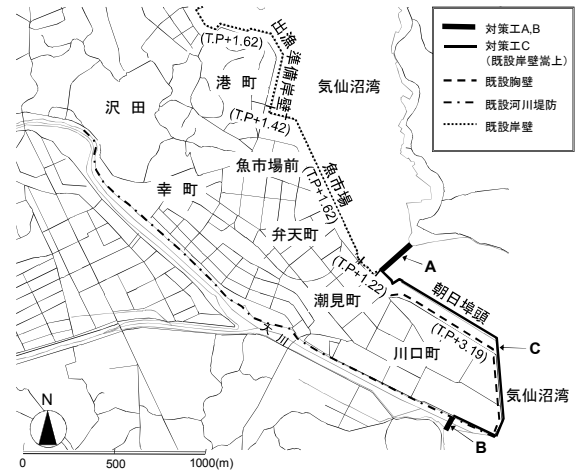


図-7 想定ケースと対策工配置

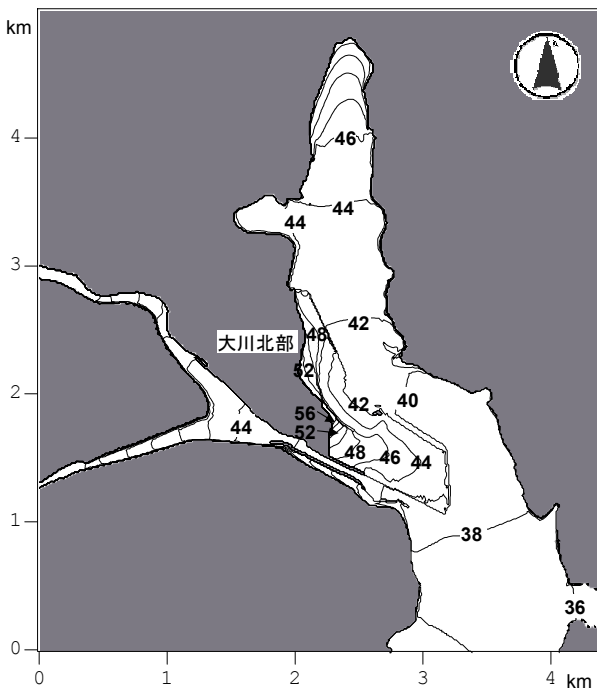


図-6 津波到達・浸水開始時間 (ケース1)

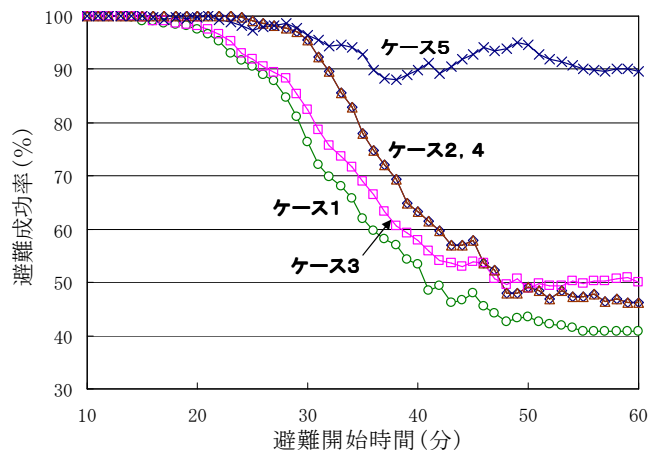


図-8 避難開始時間別避難成功率

ケース1の津波到達時間(地震発生後、水位が+に転じた時間)は大川北部沖へおよそ38分で、湾奥へおよそ45分で津波による水位の上昇が見られる。なお対策工別浸水計算結果例は既に図-1で示した。注目すべきことに対策工天端高をTP+4.0mとしたケース3では、湾内狭窄部に設置した対策工A付近から埠頭へ溢水が見られ、湾奥では浸水範囲の減少が見られるものの大川北部地区では浸水深が大きくなっている箇所もある。しかし、さらに天端高を上げたケース5では浸水範囲は大幅に減少している。このことから、対象とする津波・高潮の規模やどこを重点的に防護すべきかに応じて、海岸施設配置や施設仕様を慎重に決定する必要があることがわかる。

次に避難シミュレーション結果として避難開始時間別避難成功率を図-8に示す。避難開始時間が遅くなればなるほど、避難成功率は低下することがわかる。また対策工に応じて避難成功率は増減するが、対策工の数を3箇所設置したにもかかわらず、ケース3のように被災者が多くなり逆効果となるケースもある。ここで図-9にケース1で被災した人の初期位置と避難にかかった時間コンターを示す。被災は避難所まで10分以上かかり、浸水開始時間が早い南東部の埠頭にいた人に多く見られる。同様に図-10にケース1における避難者使用経路を示す。海沿いに使用者数の多い避難経路が存在し、多くの避難失敗者が発生する要因となった。また内陸部において使用頻度が高い避難路に対しては、地震動による家屋倒壊や落橋等に起因する街路閉塞が発生しないか、耐震性について十分照査することが必要である。以上、対策工の効果の他、避難にかかる時間や安全な経路などもこうしたツールによりわかるため、住民への地域防災教育等へも効果的であると考える。

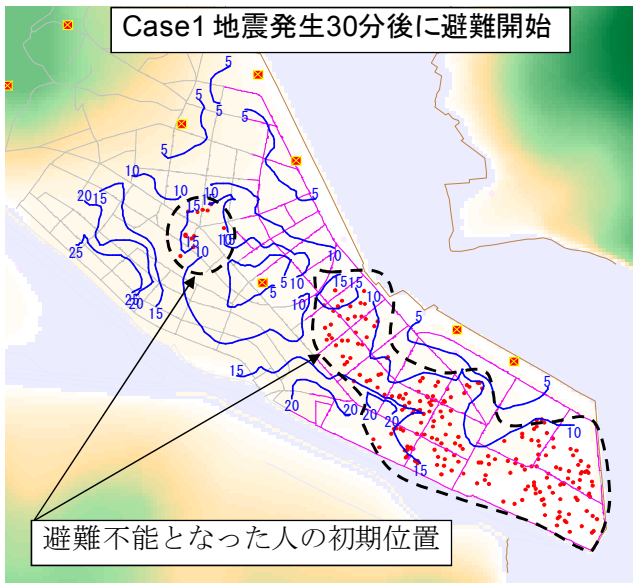


図-9 被災者初期位置・避難時間コンター

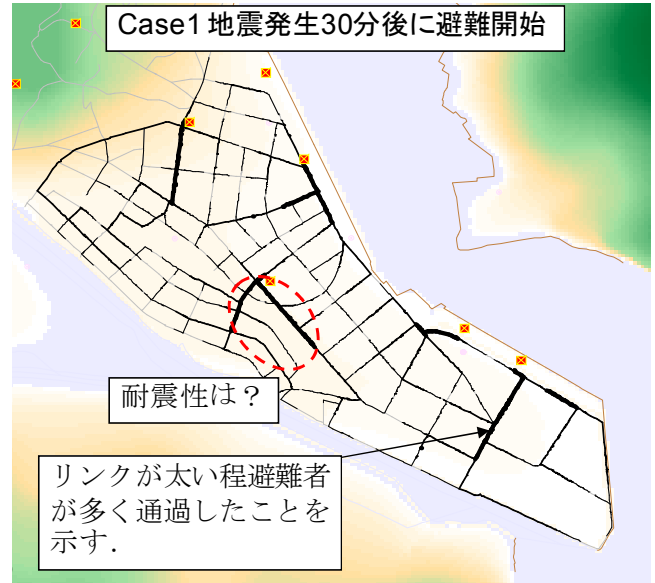


図-10 被災者使用道路

6. まとめ

津波高潮に対する浸水・避難シミュレーションの手法、被害評価方法、新型構造物例を紹介し、実サイトを対象に同シミュレーションを適用した。そしてハードおよびソフト両面から防災について考察した。その結果、想定津波に対して効果的な対策工配置、対策工規模、住民避難の際に防災上注意すべき避難経路等が判明し、総合的な防災対策を講じるうえで有用な情報を得ることができた。

参考文献

- 1) 小谷美佐, 今村文彦, 首藤伸夫: GIS を利用した津波遡上計算と被害推定, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 356-360, 1998.
- 2) 豊田泰晴, 今村文彦, 佐藤健一, 佐々木洋之: 地震長期確率を組み入れた津波防災事業の定量的評価に関する研究, 地震工学論文集, 2003.
- 3) 田村 保, 日根野聰弥, 西村敬一, 館 憲司: 津波水門の提案, 海洋開発論文集, 2004.